

7

CONCLUSIONES

Como colofón al trabajo desarrollado en la Tesis Doctoral que el lector tiene en sus manos en estos momentos, se procede en este Capítulo a señalar las principales conclusiones que cabe extraer del trabajo de investigación llevado a cabo y recogido en estas páginas. Se pretende con esto destacar con claridad cuál es la parte del presente trabajo que ha surgido como fruto del esfuerzo investigador desarrollado en este nuevo tipo de estructuras magnéticas.

Asimismo, y como consecuencia de la naturaleza misma del proceso investigador, que siempre encuentra aspectos de interés para profundizar en el estudio de cualquier tema que se aborda, se identifican varias líneas de trabajo que podrían complementar el estudio de componentes magnéticos integrados mediante tecnología de capa gruesa desarrollado en este trabajo.

Por todo ello, se debe entender que el cometido de este Capítulo es doble. Por un lado se trata de dar cierre a un tema de investigación: el análisis y caracterización de nuevas estructuras magnéticas integradas orientadas a la inclusión en convertidores electrónicos de potencia. Por otro lado, ese cierre no es concluyente, ya que al mismo tiempo se abren otras puertas de estudio para completar el conocimiento de estas estructuras magnéticas en otros aspectos que van más allá de los analizados en esta obra.

7.1. APORTACIONES DEL PRESENTE TRABAJO

En un mundo en que se tiende a la miniaturización de gran parte de los equipos electrónicos que se manejan habitualmente (teléfonos móviles, ordenadores portátiles, etc.), las fuentes de alimentación incluidas en los mismos se ven sometidas a la misma presión. Esto obliga a intentar diseñar convertidores electrónicos de potencia cada vez más pequeños y ligeros, facilitando esta labor la reducción de muchos de los componentes que los conforman. Aun así, son principalmente los componentes activos (semiconductores, circuitos integrados, ...) los que han conseguido reducir su tamaño considerablemente, mientras que los componentes reactivos, y sobre todo los componentes magnéticos, van muy por detrás en el proceso de miniaturización. Haciéndose eco de esta necesidad, esta Tesis ha pretendido aportar nuevas soluciones al excesivo tamaño de los componentes magnéticos, proponiendo nuevas estructuras integradas de bobinas y transformadores adecuadas para ser incluidas en convertidores electrónicos de potencia.

Es necesario reconocer, sin embargo, que la idea de la estructura propuesta no es del todo nueva. La posibilidad de conseguir un componente magnético embebiendo los conductores completamente en ferrita (como se propone en este trabajo) ya se había contemplado con anterioridad, pero fue rechazada debido a la pobre calidad de las pastas de ferrita disponibles en aquel momento. Hoy en día, estas pastas han mejorado, permitiendo desarrollar bobinas y transformadores mediante integración con tecnología de capa gruesa. Este hecho ha propiciado el estudio de estos componentes tal y como se ha llevado a cabo en estos Capítulos, lo cual ha dado lugar a una serie de aportaciones que pasan a citarse a continuación.

1. Se han propuesto distintas estructuras posibles para generar componentes magnéticos integrados utilizando tecnología de capa gruesa, identificándose inicialmente cuatro estructuras diferentes: estructura plana, estructura con entrehierro, estructura apilada y estructura tipo *sandwich*.
2. Se han analizado las limitaciones tecnológicas que siguen existiendo en la actualidad y se han aplicado las conclusiones de este análisis a las estructuras propuestas como posibles. El resultado fue el de elegir únicamente dos (estructura plana y estructura apilada) como adecuadas para ser desarrolladas con el método propuesto.

3. Aplicado al estudio de bobinas, se ha concluido que tanto las estructuras planas como las apiladas son susceptibles de ser utilizadas para fabricar bobinas integradas.
- 3.1. Se ha desarrollado un método de cálculo (método de las trayectorias elípticas) que permite determinar, para ambos tipos de estructuras, ecuaciones con las que se obtienen los valores de inductancia y resistencia serie que presentan las bobinas consideradas.
 - 3.2. Se han indicado varios criterios de diseño que permiten adecuar el valor de la resistencia serie a las necesidades de cada caso y/o optimizar la inductancia por unidad de volumen que se puede obtener.
 - 3.3. Se han comparado los valores de inductancia ofrecidos por las ecuaciones desarrolladas con los determinados mediante simulación de las estructuras propuestas con herramientas de elementos finitos (ANSYS). Los resultados obtenidos quedan siempre comprendidos en una banda del $\pm 10\%$ del valor ofrecido por el ANSYS.
 - 3.4. También se han utilizado muestras de este tipo de bobinas facilitadas por AVX para validar las ecuaciones desarrolladas. De este proceso de validación se obtuvieron tres conclusiones importantes:
 - a El método de modelado/diseño de estas bobinas integradas ofrece resultados satisfactorios.
 - b Las tolerancias en las dimensiones de la bobina debidas al propio proceso de fabricación (que es típicamente del $\pm 5\%$), suponen variaciones en los valores de inductancia obtenidos de aproximadamente un $\pm 8\%$.
 - c El proceso de fabricación es un proceso aún inmaduro (en lo que se refiere a su aplicación para la obtención de componentes magnéticos) en el que quedan puntos que controlar. Así por ejemplo, se hace necesario tener un control preciso del perfil de quemado necesario para garantizar que se alcanza en la ferrita la permeabilidad relativa indicada por el fabricante.

4. Por lo que se refiere a la utilización de esta técnica para dar lugar a transformadores, se han identificado como únicas estructuras adecuadas las estructuras apiladas, ya que las estructuras planas no dan lugar al necesario acoplamiento entre devanados.
 - 4.1. Se ha vuelto a hacer uso del método de las trayectorias elípticas para poder determinar los valores de la inductancia magnetizante, obteniendo además la resistencia serie que presentan estos componentes.
 - 4.2. Se ha desarrollado un nuevo método de cálculo que permite determinar, para cualquier disposición de las capas de primario y secundario, el valor de la inductancia de dispersión presente en estos transformadores.
 - 4.3. Se han comparado los resultados obtenidos mediante las Ecuaciones desarrolladas tanto con los ofrecidos por herramientas de elementos finitos como con los medidos en una muestra de transformador. En este caso se ha comprobado que existe una cierta discrepancia entre las inductancias de dispersión determinadas por el método propuesto y mediante ANSYS (que se ajustan bastante bien) y la medida directamente sobre la muestra.
 - 4.4. Se ha utilizado la muestra disponible para determinar que, en efecto, estas estructuras son capaces de transferir energía entre sus devanados. Sin embargo, también se ha concluido que su utilidad queda limitada por el elevado valor de inductancia de dispersión (comparado con su inductancia magnetizante) que presentan.
 - 4.5. Se han dado algunos criterios básicos de diseño, como son la conveniencia de que el número de capas conductoras usadas para el devanado primario sea el mismo que el usado para el secundario, y la necesidad de utilizar disposición entrelazada de devanados para reducir la inductancia de dispersión en la medida de lo posible.
5. Se ha verificado la validez de este tipo de estructuras mediante la inclusión de una bobina de este tipo en un convertidor cc/cc cuya densidad de potencia llega a ser casi el doble que la de otros convertidores comerciales de características similares.

6. Se han generado ficheros *Mathcad* que llevan a cabo un diseño automatizado tanto de bobinas como de transformadores integrados mediante tecnología de capa gruesa.

Con todas estas aportaciones se consigue un triple propósito. Por un lado se consigue validar la tecnología propuesta para obtener componentes magnéticos. En segundo lugar, se desarrolla un conjunto de ecuaciones y criterios que facilitan el proceso de modelado y/o diseño de dichos componentes. Y por último, se verifica su validez para ser incluidos en convertidores electrónicos de potencia (al menos en lo que a bobinas se refiere) mediante el desarrollo de un convertidor cc/cc con muy alta densidad de potencia a la que contribuye una bobina integrada según el método propuesto.

7.2. SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS

Como ya se ha indicado en la introducción a este séptimo y último Capítulo, en el desarrollo de toda Tesis Doctoral se hace preciso marcar un punto con el que se ponga fin al trabajo investigador llevado a cabo. En este caso, se trata de validar una nueva tecnología para el desarrollo de componentes magnéticos integrados y de desarrollar un conjunto de criterios y ecuaciones que permitan estudiar adecuadamente el comportamiento de los mismos. Sin embargo, en toda tarea investigadora (y ésta no es una excepción) existen varias puertas abiertas a través de las cuales se puede conseguir un conocimiento más completo del tema estudiado. En el caso de estructuras magnéticas integradas mediante tecnología de capa gruesa, cabe destacar los siguientes trabajos como posibles tareas complementarias a la presente Tesis Doctoral.

- Análisis de los fenómenos de alta frecuencia en la resistencia serie de los componentes. A tal efecto, resultan interesantes los numerosos trabajos desarrollados en este campo [7.1-7.3], en los cuales suelen relacionarse estos fenómenos con el conocimiento de la distribución de campo en los

conductores. Nótese que, a la vista de los resultados presentados en el presente trabajo, no resultaría difícil determinar el valor de dicha distribución.

- Determinación de la verdadera distribución de corrientes que tiene lugar en los análisis de cortocircuito en transformadores para así poder simular más correctamente este fenómeno y determinar con más exactitud el valor de la inductancia de dispersión de estos componentes.
- Modelado de este tipo de estructuras con el propósito de obtener subcircuitos susceptibles de ser utilizados en programas de simulación de circuitos electrónicos. Este punto enlazaría la presente Tesis Doctoral con la presentada por D. Juan Manuel Lopera Ronda, director del presente trabajo, en 1993 [7.4] y que cristalizó en el desarrollo de una herramienta informática para simulación de componentes magnéticos denominada *UO-M²T* [7.5].
- Puesta en marcha de la Sala de Híbridos disponible en el Área de Tecnología Electrónica de la Universidad de Oviedo con el objeto de seguir investigando en nuevas posibles estructuras (inclusión de entrehierro en las bobinas, por ejemplo) y perfeccionando el conocimiento de los procesos implicados en la producción de estos componentes (control del proceso de quemado para poder estimar con mayor exactitud el valor de la permeabilidad obtenida).

REFERENCIAS

- [7.1] P. L. Dowell. "*Effects of Eddy Currents in Transformer Windings*". Proc. IEE, vol. 113, nº 8, pp. 1387-1394. Agosto, 1966.
- [7.2] J. P. Vandelac, P. D. Ziogas. "*A Novel Approach for Minimizing High-Frequency Transformer Copper Losses*". IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, nº 1, pp. 266-276. 1979
- [7.3] J. M. Lopera, M. J. Prieto, F. Nuño, A. M. Pernía, J. Sebastián. "*A Quick Way to Determine the Optimum Layer Size and their Disposition in Magnetic Structures*". Proc. Power Electronics Specialists Conference PESC'97, pp. 1150-1156. Junio, 1997.

- [7.4] J. M. Lopera Ronda. "*Elementos Magnéticos en Alta Frecuencia: Estudio, Modelado y Criterios de Diseño*". Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo. Diciembre, 1993.
- [7.5] M. J. Prieto, J. M. Lopera, A. M. Pernía, F. F. Linera, F. Nuño. "*High-Frequency Magnetic Elements Design Tool*". Workshop on Computers in Power Electronics COMPEL'98, pp. 127-132. Julio, 1998.

